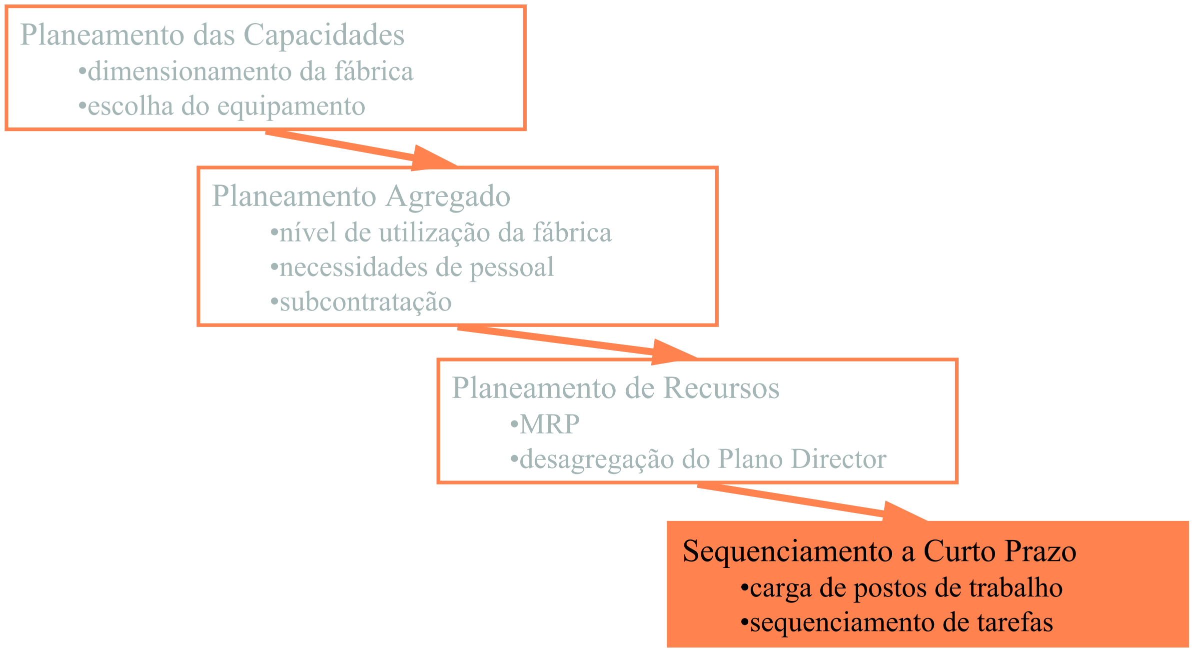
Sequenciamento e Controlo das Actividades Produtivas

Slide 1

Transparências de apoio à leccionação de aulas teóricas

Maria Antónia Carravilla – FEUP

Slide 2



Slide 3

Controlo das Actividades Produtivas

Técnicas de gestão das prioridades e das capacidades usadas para:

- sequenciar actividades produtivas;
- controlar actividades produtivas.

- Controlo das prioridades

  Assegurar que as actividades produtivas seguem o plano definido pelo MRP, controlando os fornecimentos internos e externos.

- Controlo das capacidades

  Monitorização dos postos de trabalho, assegurando que que estão produzir as quantidades planeadas.

Controlo das Actividades Produtivas – Objectivos

Slide 4

- Manter conhecimento sobre o estado actual das tarefas

  que tarefas estão a ser realizadas e em que locais

- Determinar as operações seguintes a realizar

  que tarefas devem ser realizadas a seguir em cada posto de trabalho

- Assegurar que os materiais e as capacidades são adequados

  garantir que existem os materiais necessários e que existe capacidade suficiente para realizar as operações

- Maximizar a eficiência

  maximizar a utilização da mão-de-obra e das máquinas e minimizar stocks, tempos de setup

- Manter controlo operacional

  monitorizar a evolução das operações e desencadear acções correctivas sempre que necessário

Controlo das Actividades Produtivas – Base de dados

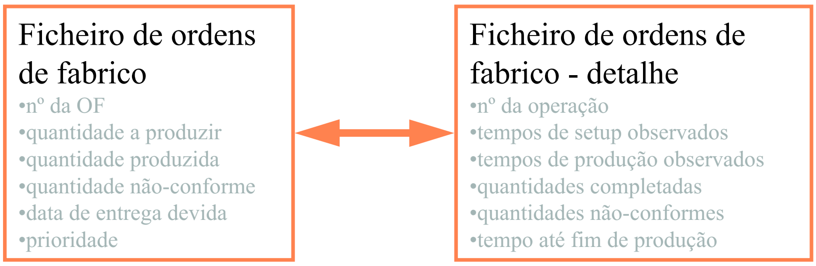
Slide 5

Planeamento

Controlo das Actividades Produtivas – Base de dados

Controlo

Slide 6



Tipos de sistemas de produção

Slide 7

- Sistemas de produção contínua

  Caracterizam-se por terem um número limitado de produtos em linhas de produção estáveis.

  Simplificação do planeamento e do controlo.

- Sistemas de produção intermitentes

  Produção por lotes de uma grande variedade de produtos, utilizando equipamentos comuns.

  Cada ordem de fabrico tem que ser encaminhada através dos centros de trabalho, de acordo com o seu roteamento.

  Geram-se filas de espera (em-cursos) à entrada de cada posto de trabalho.

- Projectos

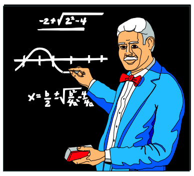
  Sequências e localizações únicas para cada uma das tarefas.

  Existem ferramentas de gestão próprias (CPM e PERT)

Slide 8

Sequenciamento a curto prazo — Exemplos

Hospital
tratamentos ambulatórios
horários de enfermeiros e médicos
salas para operações



Ensino
horários professores
horários salas
afectação de equipamentos audiovisuais

Indústria
produção
compras
horários dos funcionários

Companhias aéreas
manutenção aviões
horários de partidas
horários das tripulações e pessoal de terra

Slide 9

Definição de Sequenciamento

Sequenciamento é a afectação óptima no tempo de recursos escassos na forma de **máquinas**, a actividades designadas por **tarefas**, sujeita às restrições básicas de que em qualquer instante nenhuma **máquina** processa mais do que uma **tarefa** e nenhuma **tarefa** é processada por mais do que uma **máquina**.

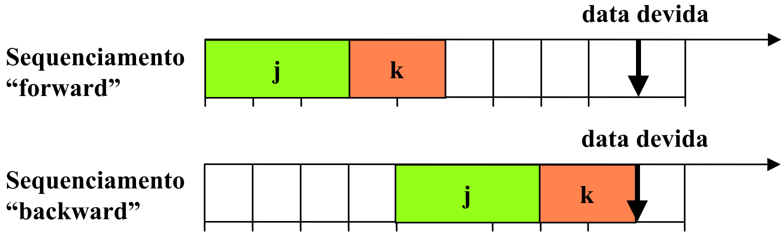
[Lenstra e Rinnoy Kan 1984]

Sequenciamento “Backward”e “Forward”

Sequenciamento “Forward”:

- Sequenciamento tem início logo que se conhecem os pedidos.
- Pode dar origem a grandes stocks de produto acabado.

Slide 10



Sequenciamento “Backward”:

- Sequenciamento inicia-se a partir da data devida da última operação.
- Lógica MRP.
- Usado em diversos tipos de indústrias, no “catering”e também do sequenciamento de actos cirúrgicos.

Métodos de Sequenciamento — Regras para definição de prioridades

Slide 11

- FIFO — first in first out
- EDD — earliest due date
- LS — least slack (slack = data devida - tempo de processamento em falta)
- SPT — shortest processing time
- LPT — longest processing time
- Prioridades
- Ordem aleatória
- Quociente crítico (critical ratio CR)

$$CR = \frac{\text{tempo até data devida}}{\text{tempo de trabalho até conclusão}} = \frac{\text{data devida} - \text{data actual}}{\text{tempo de trabalho até conclusão}}$$

Um exemplo de sequenciamento

Considere que pretende realizar 4 tarefas numa só máquina, considere também que cada tarefa ocupa a máquina durante um determinado tempo e que uma vez iniciado o seu processamento, este não poderá ser interrompido. Cada tarefa tem uma data devida.

Slide 12

Tarefa	A	B	C	D
Tempo de processamento	4	1	2	3
Data devida	1	4	5	9

Um exemplo de sequenciamento

Relativamente ao exemplo de sequenciamento apresentado, pretende-se determinar as sequências de tarefas, seguindo as regras:

Slide 13

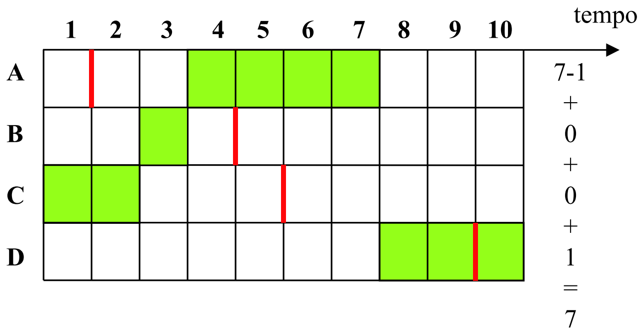
- FIFO
- EDD
- LS
- SPT
- LPT
- ordem crescente de CR

Um exemplo de sequenciamento

Slide 14

Relativamente ao exemplo de sequenciamento apresentado, determine uma sequência de tarefas, considerando que se pretende minimizar a soma dos atrasos na conclusão de cada tarefa, relativamente à respectiva data devida.

Uma sequência particular (**C, B, A, D**) está representada na figura seguinte:



Para este exemplo há 24 (4!) sequenciamentos possíveis.

Para 10 tarefas o número de sequenciamentos possíveis seria 2.4×10^{24}

Para 50 tarefas o número de sequenciamentos possíveis seria 3.0×10^{64}

Classificação de problemas de sequenciamento

Slide 15

Graham et al 1979 sugeriu um esquema para classificação dos problemas de sequenciamento:

$$\alpha \mid \beta \mid \gamma$$

- α – características associadas às máquinas
- β – características associadas às tarefas
- γ – função objectivo

Exemplos:

α	β	γ
1	r_j	L_{MAX}
1		L_{MAX}
1	$r_j,\, p_j = p$	L_{MAX}
$J2$	$p_{ij} = 1$	C_{MAX}

Slide 16

Classificação de problemas de sequenciamento α – características associadas às máquinas

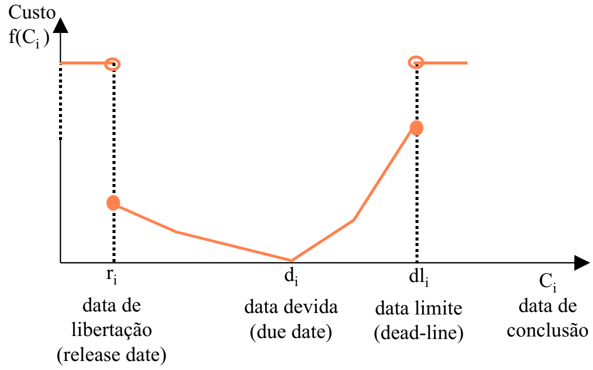
- problemas com um tipo de máquina
  - máquina única
  - máquinas paralelas (idênticas, uniformes ou não relacionadas)
- problemas com vários tipos de máquinas
  - OPEN-SHOP: a tarefa J_i tem que sofrer um conjunto de operações $\{O_{1i}, \ldots O_{mi}\}$, onde a operação O_{ji} tem que ser realizada na máquina j. A ordem pela qual se realizam as operações é irrelevante.
  - JOB-SHOP: a tarefa J_i tem que sofrer um conjunto de operações $\{O_{1i}, \ldots O_{mi}\}$, onde a operação O_{ji} tem que ser realizada na máquina j. A ordem pela qual se realizam as operações numa tarefa é fixa, mas pode variar de tarefa para tarefa.
  - FLOW-SHOP: a tarefa J_i tem que sofrer um conjunto de operações $\{O_{1i}, \ldots O_{mi}\}$, onde a operação O_{ji} tem que ser realizada na máquina j. A ordem pela qual se realizam as operações é fixa e idêntica para cada tarefa.

Slide 17

Classificação de problemas de sequenciamento β – características associadas às tarefas

As tarefas podem ter:

- tempo de processamento p_i
- data de libertação r_i
- data devida d_i
- data limite dl_i

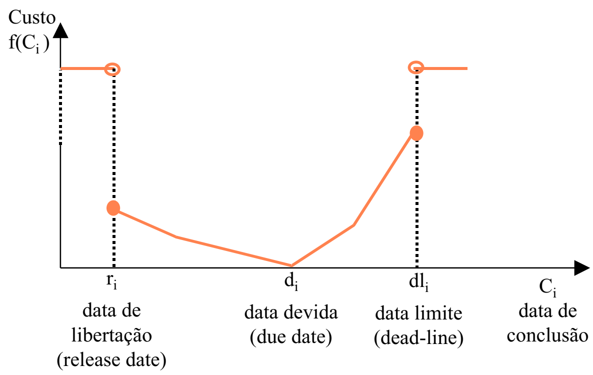


Classificação de problemas de sequenciamento γ – função objectivo

Para uma determinada sequência, o custo associado à tarefa i é função do seu período de conclusão C_i $(f_i(C_i))$.

O objectivo dos problemas de sequenciamento é encontrar uma sequência que minimize: $\mathcal{F}\left(f_i(C_i)\right)$

Slide 18 Na figura seguinte apresenta-se o exemplo de uma função custo para uma tarefa i.



Classificação de problemas de sequenciamento γ – função objectivo

Objectivos:

- Minimização do tempo total até conclusão.
- Minimização dos em-cursos.
- Maximização da utilização do equipamento.
- Minimização do tempo de espera dos clientes.

Slide 19

Problemas com uma só máquina
$1||\sum w_{it}x_{it}$ — Uma formulação

Slide 20

- Índices

  tarefa – $i \in \{1,\ldots,n\}$

  período – $t \in \{1,\ldots,T\}$

- Dados

  p_i – tempo de processamento da tarefa i.

  w_{it} – custo associado ao facto de a tarefa i se iniciar no período t.

  O processamento de uma tarefa não pode ser interrompido.

- Variáveis de decisão

  $$x_{it}\begin{cases}1 & \text{se a tarefa } i \text{ se inicia no período } t\\ 0 & \text{se não}\end{cases}$$

- Função Objectivo

  $$\min \quad \sum_{i,t} w_{it}x_{it}$$

- Restrições

  $$\forall_i \qquad \sum_{t=1}^{T-p_i+1} x_{it} = 1 \qquad (15)$$

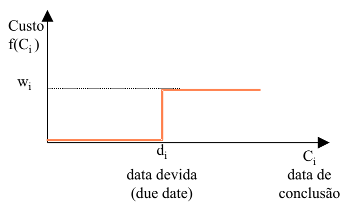
  $$\forall_t \qquad \sum_{i=1}^{n}\sum_{s=t-p_i+1}^{t} x_{is} \leq 1 \qquad (16)$$

  As restrições (15) garantem que todas as tarefas são iniciadas exactamente uma vez. As restrições (16) garantem que só é processada uma tarefa de cada vez.

Problemas com uma só máquina
Minimizar o número pesado de tarefas com atraso $1||\sum w_iU_i$

Slide 21

- Uma máquina
- n tarefas, cada tarefa tem:
  - tempo de processamento, p_i
  - data devida, d_i, $(d_i \geq p_i)$
  - custo associado ao atraso da tarefa, w_i



Prop. Uma sequência óptima pode ser descrita por dois conjuntos disjuntos:

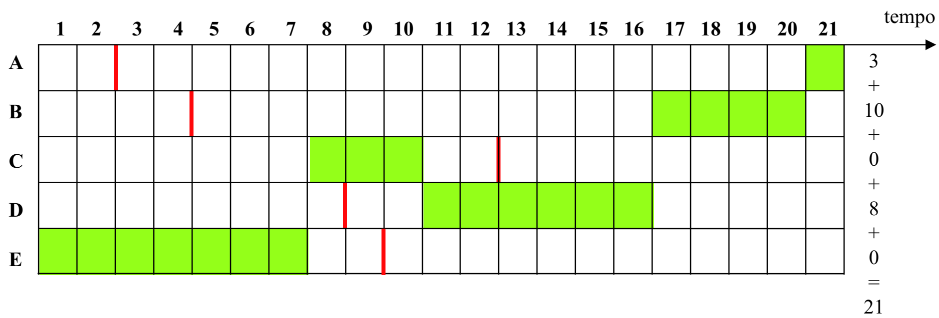
- Um conjunto de tarefas sem atraso, ordenadas por data de entrega (EDD).
- Um conjunto de tarefas com atraso, com uma ordenação arbitrária.

$1||\sum w_iU_i$ — Um exemplo

Tarefa	A	B	C	D	E
Tempo de processamento (p_i)	1	4	3	6	7
Data devida (d_i)	2	5	13	9	10
Custo do atraso (w_i)	3	10	5	8	8

Uma sequência particular (**E, C, D, B, A**) está representada na figura seguinte:

Slide 22



À sequência apresentada corresponde um valor da função objectivo $\sum w_iU_i = 21$

$1||\sum w_iU_i$ — Alguns casos especiais:

Slide 23

- $1||\sum w_iU_i$

  Este caso geral é NP-Completo [Karp 72]

- $1||\sum U_i$ — pesos iguais

  Algoritmo de Moore (de ordem $O(nlog_n)$):

  1. Acrescentar as tarefas à sequência, por ordem de data devida (EDD).
  2. Se a inclusão da tarefa i, resultar em esta ser completada com atraso, seleccionar a tarefa já sequenciada com maior p_i, considerá-la em atraso e removê-la da sequência.

- $1|p_i = p|\sum w_iU_i$ — tempos de processamento iguais

  Problema de afectação [Lawler 76]

- $1|p_i < p_j \Rightarrow w_i \geq w_j|\sum w_iU_i$ — pesos "agradáveis"

  Generalização do algoritmo de Moore [Lawler]

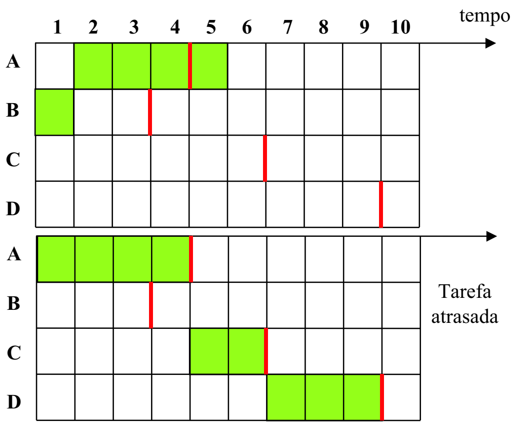
- $1|d_i = d|\sum w_iU_i$ — datas devidas iguais

  Problema de mochila (relativamente fácil)

$1||\sum U_i$ — Resolução de um exemplo pelo algoritmo de Moore

Slide 24

Tarefa	A	B	C	D
Tempo de processamento	4	1	2	3
Data devida	4	3	6	9



$1||\sum w_i U_i$ — Uma formulação

Slide 25

- Índices

  tarefa – $i \in \{1, \ldots, n\}$

- Dados

  p_i – tempo de processamento da tarefa i.

  w_i – custo associado ao atraso da tarefa i.

  As tarefas estão ordenadas por data de entrega e o processamento de uma tarefa não pode ser interrompido.

- Variáveis de decisão

  $$U_i \begin{cases} 1 & \text{se tarefa } i \text{ sem atraso} \\ 0 & \text{se tarefa } i \text{ com atraso} \end{cases}$$

- Função Objectivo

  $$\max \quad \sum_i w_i U_i$$

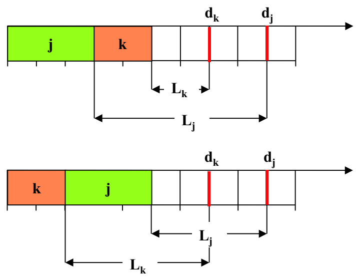
- Restrições

  $$\forall_i \quad \sum_{j=1}^{i} p_j U_j \leq d_i$$

$1||\sum L_{MAX} = 1||max_i\,(C_i - d_i)$ — Alguns casos especiais:

- $1||L_{max}$

  Regra de Jackson: Ordenar as tarefas por EDD.



Slide 26

- $1|r_i; p_i = p|L_{max}$ — tempos de processamento iguais

  Regra de Jackson estendida:

  Ordenar as tarefas livres ($t \geq r_i$) por EDD.

- $1|r_i|\sum L_{MAX}$

  Não existe nenhum bom algoritmo para resolver este problema.

$1||\sum w_j C_j$ — Alguns casos especiais:

- $1||\sum w_j C_j$

  Regra de Smith:

  Ordenar as tarefas por $\frac{p_j}{w_j}$ crescente.

- $1||\sum C_j$

  Ordenar as tarefas por tempo de processamento crescente.

Slide 27

- $1|r_j; pmtn|\sum C_j$

  Fácil

- $1|r_j; pmtn|\sum w_j C_j$

  Difícil

Problemas com várias máquinas paralelas

- Cada tarefa J_i pode ser realizada em qualquer uma das m máquinas paralelas $M_1, \ldots M_m$.
- O tempo de processamento da tarefa i na máquina k é p_{ki} unidades de tempo.
- Uma tarefa não pode ser realizada em duas máquinas ao mesmo tempo.

Slide 28

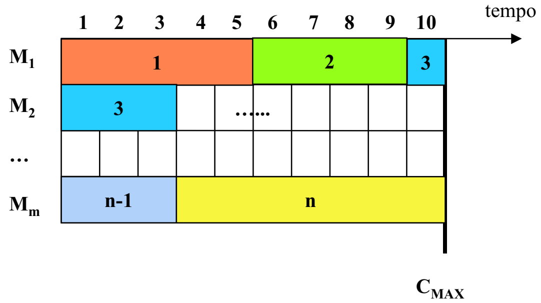
- Objectivo: determinar uma sequência tal que o tempo total de execução (Makespan) $C_{MAX} = max_i \{C_i\}$ seja mínimo.
- $\boxed{\text{P}}$ — Máquinas idênticas: $\forall_k p_{ki} = p_i$
- $\boxed{\text{Q}}$ — Máquinas uniformes: $\forall_k p_{ki} = \frac{p_i}{s_k}$, onde s_k é a rapidez da máquina k.
- $P|pmtn|C_{MAX}$ — fácil
- $Q|pmtn|C_{MAX}$ — fácil

Problemas com várias máquinas paralelas
$P|pmtn|C_{MAX}$

Tempo de conclusão máximo óptimo $C^*_{MAX} = max\left\{max_i\{p_i\}, \frac{1}{m}\sum p_j\right\}$

Regra de Mc Naughton:

Slide 29



Problemas com várias máquinas
Tarefas com operações múltiplas

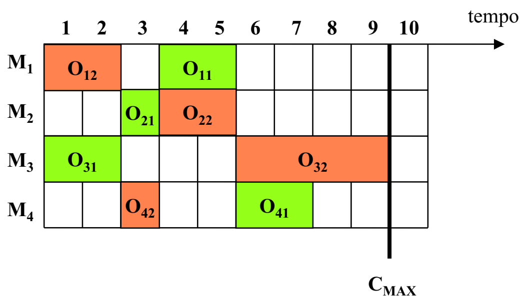
Slide 30

- Cada tarefa J_i tem operações $\{O_{1i}, \ldots O_{mi}\}$ a serem realizadas em máquinas $M_1, \ldots M_m$.
- Cada operação O_{ki} deve ser realizada numa determinada máquina durante p_{ki} unidades de tempo.
- Não se podem realizar simultaneamente duas operações da mesma tarefa.
- Objectivo: determinar uma sequência tal que o tempo total de execução (Makespan) $C_{MAX} = max_i \{C_i\}$ seja mínimo.

Tarefas com operações múltiplas
Open Shop

Slide 31

Uma tarefa J_i tem operações $\{O_{1i}, \ldots O_{mi}\}$. A operação O_{ki} é processada na máquina M_k. A ordem das operações não é importante.

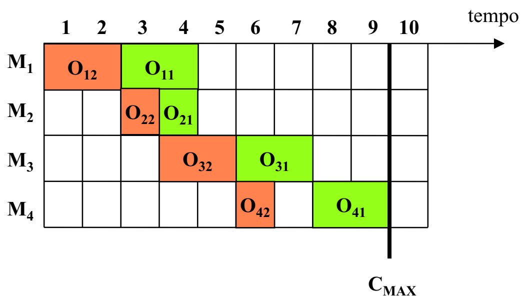


- $O_2||C_{MAX}$ — fácil
- $O_m|pmtn|C_{MAX}$ — fácil

Tarefas com operações múltiplas
Flow Shop

Uma tarefa J_i tem operações $\{O_{1i}, \ldots O_{mi}\}$. A operação O_{ki} é processada na máquina M_k. A ordem das operações em cada máquina é a mesma.

Slide 32



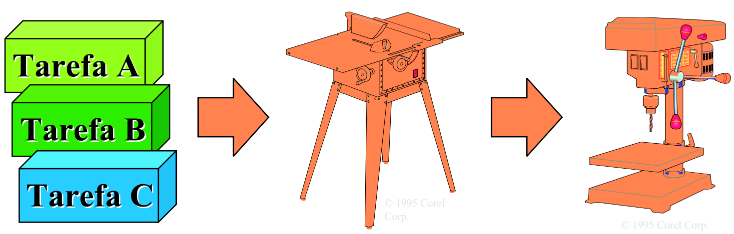
- $F_2||C_{MAX}$ — fácil (caso excepcional)
- $F_3|pmtn|C_{MAX}$ — difícil

Flow Shop — $F_2||C_{MAX}$

Algoritmo de Johnson

Slide 33

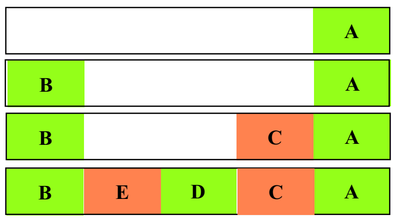
1. Listar todas as tarefas por ordem crescente de tempo de processamento mínimo $pmin_i = \min\{p_{1i}, p_{2i}\}$.
2. Retirar a primeira tarefa da lista. Se $pmin_i = p_{1i}$, colocar a tarefa no início da sequência. Se $pmin_i = p_{2i}$, colocar a tarefa no fim da sequência.
3. Voltar a 2.



$F_2||C_{MAX}$ — Resolução de um exemplo pelo algoritmo de Johnson

Tarefa	A	B	C	D	E
p_{1i}	5	3	8	10	7
p_{2i}	2	6	4	7	12

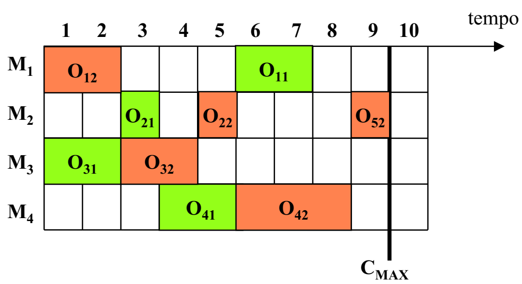
Slide 34



Tarefas com operações múltiplas
Job Shop

Uma tarefa J_i tem operações $\{O_{1i}, \ldots O_{mi}\}$. A operação O_{ki} é processada na máquina $M_{\mu ki}$. Cada tarefa tem que percorrer uma sequência de máquinas precisa.

Slide 35



- $J_2||C_{MAX}$ — difícil
- $J_2|pmtn|C_{MAX}$ — difícil

Bibliografia

Slide 36

- Heizer, Jay and Render, Barry (1999). *Operations Management*, Prentice-Hall, 3ª edição.
- Monks, J. G. (1987). *Operations Management - Theory and Problems*, McGraw-Hill International Editions, 3ª edição.
- Schroeder, Roger G. (1989). *Operations Management, Decision Making in the Operations Function*, McGraw-Hill International Editions.
- Sousa, Jorge Pinho (1990). *Scheduling Problems in Production Management (Models and Applications)*, COMETT.